

Reabilitação e energia

ARGAMASSAS COM BASE EM CAL PARA A REABILITAÇÃO DE REBOCOS

(3 linhas en blanco)

Paulina Faria¹, Tiago Branco², João Carneiro³, Rosário Veiga⁴, António Santos Silva⁵

(1 linha en blanco)

(1) Prof. Associada, Universidade Nova de Lisboa, paulina.faria@fct.unl.pt

(2, 3) Mestrando de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, tiago.s.branco@gmail.com, jpedrocarneiro@sapo.pt

(4,5) Investigador, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, rveiga@lnec.pt, ssilva@lnec.pt

(3 linhas en blanco)

RESUMO ARTIGO

Os rebocos originais dos edifícios mais antigos encontram-se frequentemente muito deficientes ou inexistentes. Foram executados com argamassas com base em cal aérea ou, em épocas não tão antigas, cal hidráulica. No entanto, os rebocos resultantes de intervenções mais recentes (mesmo quando aplicados em edifícios antigos) têm sido maioritariamente realizados com base em argamassas de cimento.

Em termos de compatibilidade de materiais, esta é facilmente assegurada pelas argamassas com base em cal e dificilmente através de argamassas com base em cimento. Em termos energéticos, a utilização de cal como ligante é mais conservadora, uma vez que estes ligantes são produzidos a temperaturas de cozedura substancialmente mais baixas que as necessárias para a produção do cimento e requerem menor energia para moagem. Por outro lado, a introdução de adições pozolânicas pode otimizar as características das argamassas. As pozolanas podem ser resultantes da valorização de resíduos e podem substituir parcialmente o ligante das argamassas, comportando menores consumos energéticos e de recursos naturais. Finalmente, a carbonatação das argamassas de cal, especialmente aérea, ocorre com consumo de dióxido de carbono, o que se traduz também numa vantagem ao nível da sustentabilidade.

Nesse sentido, apresentam-se as características de algumas argamassas com base em cal aérea ou cal hidráulica natural, sujeitas a duas curas distintas, com diferentes percentagens de metacaulino e analisam-se os resultados obtidos em face dos consumos energéticos associados directamente aos materiais e, indirectamente, à compatibilidade entre materiais e respectiva durabilidade das paredes que os rebocos pretendem proteger e dos rebocos a reabilitar.

Palavras-chave: argamassas, cal, metacaulino

(3 linhas en blanco)



I. INTRODUÇÃO

Em Portugal, grande parte dos edifícios antigos apresentam paredes com revestimento exterior e interior por sistemas de reboco. Em termos de compatibilidade de materiais, é óbvio que esta é facilmente assegurada pelas argamassas com base em cal e dificilmente pelas argamassas com base em cimento [Henriques & Faria 2008].

Em termos energéticos, a utilização de cal como ligante de argamassas é mais conservadora, uma vez que estes ligantes são produzidos através de temperaturas de cozedura mais baixas e requerem reduzida ou nenhuma energia para moagem.

Por outro lado, a influência das pozolanas em argamassas tem sido um tema objeto de recente mas constante investigação e desenvolvimento. Estes produtos podem resultar de subprodutos industriais e: têm a possibilidade de serem utilizados em substituição parcial dos ligantes das argamassas, com economia energética e ao nível de recursos naturais relativos à sua produção; têm a capacidade de otimizar algumas das características das argamassas, nomeadamente ao nível do endurecimento em condições de elevada humidade relativa e de fraco contacto com o dióxido de carbono do ambiente, aumentando as resistências mecânicas e a durabilidade das argamassas [Faria 2009]. Podem ser naturais ou artificiais, explorados como georrecursos ou provenientes de processo industrial [IPQ 2010]. As pozolanas artificiais podem resultar do aproveitamento de subprodutos industriais, após valorização, por acção térmica e/ou moagem, como são os casos das cinzas volantes, das cinzas de casca de arroz, dos resíduos de cerâmica de barro vermelho, ou, também após valorização por tratamento térmico e moagem, de argilas, nomeadamente caulínicas, exploradas diretamente, rejeitadas por outras indústrias ou como resíduo resultantes da lavagem de areias caulínicas, muito frequentes em Portugal. Os metacaulinos são um tipo de pozolanas artificiais geralmente bastante reactivas [Pontes 2011], que resultam do tratamento térmico de caulinos a cerca de 600-800°C e moagem ligeira. Os consumos energéticos inerentes à sua preparação são inferiores aos da produção dos ligantes correntes. A reintrodução de subprodutos no processo produtivo reduz as necessidades de consumo de recursos naturais e energéticos, bem como a deposição em aterro.

II. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

1. Materiais e preparação das argamassas e dos provetes

As argamassas foram realizadas tendo como ligantes a cal aérea em pó Lusical H100 ou a cal hidráulica natural Secil NHL5. Esta última é classificada segundo a NP EN 459-1:2011 [IPQ 2011]. Utilizou-se como adição pozolânica um metacaulino comercial de origem francesa Argical M 1200 S, uma vez que à data do início do estudo global em que este trabalho se insere ainda não havia disponibilidade de um metacaulino comercial português com qualidade constante. Como agregado utilizou-se sempre uma mistura bem graduada de areias lavadas comerciais.

A amassadura e a compactação das argamassas nos moldes prismáticos foram mecânicas e sempre idênticas. No caso das argamassas de cal hidráulica, os provetes foram mantidos dentro de sacos de polietileno durante os primeiros 7 dias de idade (os 2 primeiros dias dentro dos moldes); os provetes de cal aérea ficaram 6 dias dentro do saco, tendo sido então desmoldados (excepto os só de cal aérea, que a essa idade se encontravam ainda muito pouco endurecidos e só foram desmoldados após mais 2 dias



fora do saco). Após a desmoldagem, os provetes foram colocados em cura à temperatura de 20°C, com humidade relativa (HR) de 65% (cura Standard, Sc, de acordo com a norma EN 1015:11: 1999) ou a 95% de HR (cura húmida, Hc) até à idade de ensaio.

As argamassas encontram-se definidas na tabela 1. A sua designação menciona o tipo de cal utilizada (aérea, AL, ou hidráulica natural, HL), a eventual percentagem de massa de cal substituída por massa de metacaulino e as respectivas condições de cura. Os traços volumétricos e ponderais, assim como a relação Água/Ligante, apresentam como ligante o conjunto da cal com o metacaulino.

Tabela 1 - Designação, cura, traços, relação água/ligante e consistência por espalhamento

Argamassa	Cura	Traço volumét.	Traço ponderal	Rel. A/L+Mk	Espalh.
		[L+Mk:Mist.Areia]	[L+Mk:Mist.Areia]	[-]	[mm]
AL_Sc	St	1:3	1:12	2,6	132
AL_Hc	H	1:3	1:12	2,5	143
AL_30Mk_Hc	H	1:3	1:12	2,5	139
AL_50Mk_Hc	H	1:3	1:12	2,6	144
HL_Sc	St	1:3	1:5	1,1	166
HL_Hc	H	1:3	1:5	1,1	166
HL_5Mk_Hc	H	1:3	1:5	1,1	149
HL_10Mk_Hc	H	1:3	1:5	1,1	139
HL_20Mk_Hc	H	1:3	1:5	1,1	130

2. Desenvolvimento experimental e resultados

As argamassas de cal AL foram realizadas com a adição da quantidade de água que permitiu obter consistência por espalhamento comparável, enquanto nas de cal HL manteve-se sempre constante a relação Água/Ligante. Em todos os casos obtiveram-se argamassas com trabalhabilidade considerada adequada para aplicação real. A consistência por espalhamento das argamassas frescas pode ser observada na Tabela 1. Entre as argamassas de cal aérea AL obteve-se um valor médio de 140 ± 6 mm, enquanto nas argamassas de cal HL registou-se uma média de 150 ± 16 mm.

Relativamente à caracterização das argamassas endurecidas, foram ensaiados sempre um mínimo de três provetes. Aos 27 dias de idade os provetes de cada argamassa provenientes da cura Hc foram colocados nas condições de cura Sc, juntamente com os restantes provetes que já aí se encontravam. Aos 28 dias foram efectuados os seguintes ensaios e determinações: módulo de elasticidade dinâmico (Ed), com base na EN 14146:2004; resistência à tracção por flexão (Rt) e à compressão (Rc), de acordo com a EN 1015-11:1999; porosidade aberta (Pab), com base em na EN 1936:2006; coeficiente de capilaridade e absorção capilar total, com base na EN 15801:2009; índice de secagem [Brito et al. 2009]. Os resultados médios são apresentados na Tabela 2.

A) Características mecânicas e estrutura interna

Relativamente às características mecânicas, enquanto a cura Hc demonstra ser desfavorável face às argamassas só de cal AL, já o contrário sucede relativamente às argamassas só de cal HL, cujas características são francamente incrementadas com uma cura mais húmida comparativamente à referida na norma de argamassas [CEN 1999].

Como nas argamassas de cal AL com metacaulino a hidratação entre o hidróxido de cálcio e os silicatos do metacaulino compete com a carbonatação do próprio hidróxido de cálcio, e a hidratação só ocorre na presença da água, constata-se que a cura Hc é muito benéfica para este tipo de argamassas. Verifica-se ainda que, mesmo para um traço volumétrico corrente e não muito forte em ligante (1:3, a que corresponde um traço ponderal de 1:12) as características mecânicas melhoram com o aumento da substituição de cal AL por metacaulino. Nas argamassas só de cal HL existe desde logo hidratação, pela constituição da própria cal HL. No entanto, em condições de cura Hc constata-se o incremento das características mecânicas com a substituição de cal HL por metacaulino, que entre os valores analisados parece ser optimizada a cerca de 10% de substituição.

Tabela 2 - Valores médios do módulo de elasticidade dinâmico, resistências à tracção por flexão e à compressão, porosidade aberta, coeficiente de capilaridade, absorção capilar total e índice de secagem das argamassas

Argamassa	E_d	R_t	R_c	P_a	Coef.Capil.	Abs.Capil	Índ.Secagem
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	[kg/m ² .min ^{0,5}]	[kg/m ²]	[-]
AL_Sc	2567	0,20	0,49	31	1,43	13,6	0,16
AL_Hc	729	0,08	0,13	29	0,84	15,9	0,36
AL_30Mk_Hc	4245	0,59	1,16	33	1,41	23,3	0,29
AL_50Mk_Hc	6690	1,09	2,82	33	1,12	24,9	0,29
HL_Sc	2191	0,27	0,43	27	2,30	19,9	0,34
HL_Hc	4256	0,52	0,92	28	1,98	20,6	0,38
HL_5MK_Hc	7612	0,53	1,91	28	1,40	21,2	0,40
HL_10Mk_Hc	8946	0,79	2,92	29	1,17	21,6	0,41
HL_20Mk_Hc	4044	0,45	1,99	29	1,50	23,6	0,42

As características a requerer às argamassas dependem muito da sua aplicação futura. Enquanto para argamassas de assentamento de alvenaria ou para betonilhas interessam obter elevadas resistências à compressão, para argamassas destinadas a rebocos interessa deformabilidade e pouca susceptibilidade à fendilhação. Para este tipo de aplicações são favoráveis argamassas com menor E_d e elevada R_t , como são os casos das argamassas com 30% e especialmente com 50% de cal aérea substituída por metacaulino.

As diferenças registadas ao nível das características mecânicas não encontram justificação apenas pela porosidade aberta, pelo que o estudo está a ser aprofundado. Embora se constate que, nas argamassas de cal HL, a substituição de massa de cal por massa equivalente de metacaulino implica uma diminuição da consistência por espalhamento, as argamassas mantiveram-se trabalháveis e com porosidade aberta ligeiramente crescente.

B) Características físicas

Em termos do coeficiente de capilaridade, as argamassas com base em cal AL demonstraram ser mais eficientes que a maioria das argamassas de cal HL. Porém, enquanto nas argamassas de cal AL a substituição por metacaulino não aumenta a velocidade com que a água é absorvida por capilaridade para além dos valores obtidos com argamassas só de cal AL com cura Sc, nas argamassas de cal HL a substituição por metacaulino parece efectivamente ser benéfica desse ponto de vista - as argamassas só de

cal HL registam valores elevados de coeficiente de capilaridade, enquanto esses valores baixam para valores da ordem de grandeza dos das argamassas de cal AL quando existe metacaulino e principalmente com substituição de 10%.

Relativamente à absorção capilar total, regista-se um aumento das argamassas de cal AL com a introdução do metacaulino e valores muito estáveis entre todas as argamassas de cal HL (entre os registados para as argamassas só de cal AL e de cal AL com metacaulino). O índice de secagem é inversamente proporcional à facilidade com que decorre a evaporação de água das argamassas. A introdução de metacaulino parece indicar uma maior facilidade de secagem nas argamassas de cal AL, contrariamente às de cal HL, onde parece ocorrer um ligeiro decréscimo.

III. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As argamassas de cimento têm a seu favor o atual uso comum e a rapidez com que adquirem elevadas resistências mecânicas, bem como o baixo coeficiente de absorção capilar. Mas apresentam como desvantagens resistências mecânicas geralmente demasiado elevadas face aos suportes onde são aplicadas, baixa deformabilidade, dificuldade de secagem, baixa permeabilidade ao vapor de água, libertação de sais solúveis, que lhes conferem pouca durabilidade e com custos danosos para os suportes [Faria-Rodrigues & Henriques 2004; Faria et al. 2007]. Apresentam ainda elevados consumos energéticos e de recursos naturais (água, margas calcárias, transportes) inerentes à produção do cimento, incluindo a moagem do clínquer. Relativamente à temperatura, a produção do cimento requer temperaturas da ordem dos 1200-1500°C. No extremo oposto encontram-se as argamassas de cal aérea, que têm a seu favor utilizarem um ligante com temperatura de produção inferior aos 900°C, produzido a partir de calcários, praticamente sem necessidade de ser moído, consumirem dióxido de carbono para endurecerem, serem bastante permeáveis ao vapor de água, facilitarem a evaporação da água, serem mais deformáveis e apresentarem resistências mecânicas que não produzem tensões prejudiciais nos suportes onde são aplicadas. No entanto, demoram muito tempo a atingir as características mecânicas necessárias e mesmo a endurecer, quando aplicadas em ambientes com muito elevada humidade relativa ou fraco contacto com o dióxido de carbono. Numa situação intermédia encontram-se as argamassas de cal hidráulica natural, produzida a partir de calcários com alguma percentagem de argilas, também a temperaturas inferiores a 900°C mas com necessidade de moagem. Nem todos os países possuem matéria-prima adequada à produção de cal hidráulica natural mas em Portugal existe capacidade de produção significativa. A entrada em vigor da nova norma de produto das cais de construção [IPQ 2010] veio introduzir restrições na classificação das cais hidráulicas e nomeadamente das cais hidráulicas naturais. Ao abrigo desta nova versão da norma houve necessidade de ajustar os processos produtivos, tendo resultado cais hidráulicas naturais efectivamente distintas das que anteriormente eram comercializadas com o mesmo nome e que interessa caracterizar.

Como referido na descrição da execução dos provetes, apenas as argamassas só de cal aérea (sem metacaulino) não se encontravam em condições de serem desmoldadas ao fim de seis dias em saco de plástico fechado. Demonstra-se assim que a existência de apenas uma face do provete em contacto com o ambiente e sendo este muito húmido, dificulta o endurecimento destas argamassas. A existência do metacaulino e a possibilidade de, para além de existir carbonatação, ocorrer cura também por hidratação, agiliza os



procedimentos de endurecimento deste tipo de argamassas com base em cal aérea, em condições de aplicação reais.

Salienta-se o facto de se terem obtido argamassas com base em cal, aérea ou hidráulica natural, com características mecânicas e físicas adequadas para aplicação na reabilitação de edifícios [Veiga et al. 2010] e, nomeadamente, em rebocos, com vantagens técnicas e energéticas face à utilização de argamassas de cimento. Evidencia-se também o facto dessas vantagens poderem ser potenciadas por argamassas em que determinada percentagem de ligante, a cal, foi substituída por metacaulino, e que essas percentagens devem ser elevadas no caso de argamassas de cal aérea e baixas no caso de argamassas de cal NHL5. Finalmente releva-se que em todas essas argamassas de cal, a cura húmida ser mais vantajosa comparativamente à cura definida na norma, o que, particularmente no caso das argamassas com base em cal aérea, alarga o campo de aplicação a situações em que as argamassas tenham de ser aplicadas em locais sujeitos a elevadas humidades relativas ou fraco contacto com CO₂.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se o apoio do Eng. Vitor Silva na campanha experimental, realizada no âmbito dos projetos LIMECONTECH (PTDC/ECM/100234/2008) e METACAL (PTDC/ECM/100431/2008), e a disponibilização dos ligantes por parte da Lusical e da Secil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, V., GONÇALVES, T., FARIA, P. – Coatings applied on damp building substrates: performance and influence on moisture transport. J. Coat. Technol. Research 8:4 (2010) 513-525.

CEN – Methods of test for mortars for masonry. Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. EN 1015-11:1999/A1:2006.

FARIA, P. – Resistance to salts of lime and pozzolan mortars, in RILEM Proceedings pro 067 – Repair Mortars for Historic Masonry, C. Groot (Ed.), RILEM Publications on-line (2009) e-ISBN: 978-2-35158-083-7, 99-110.

FARIA, P. HENRIQUES, F., RATO, V. – Argamassas correntes: influencia do tipo de ligante e do agregado: atas do 2º Congresso nacional de Argamassas de Construção, APFAC (2007), CD-rom.

FARIA-RODRIGUES, P. e HENRIQUES, F. – Current mortars in conservation: an overview. Int. J. for Restoration 10:6 (2004) 609-622.

HENRIQUES, F. e FARIA, P. – O papel da investigação no estudo das argamassas de substituição na conservação do património, Revista Engenharia Civil - Universidade do Minho 31 (2008) 29-37.

INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE (IPQ) – Cal de construção. Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade. NP EN 459-1: 2011.

IPQ – Pozolanas para betão, argamassas e caldas. Definições, requisitos e verificação da conformidade. NP 4220: 2010.

PONTES, J. – Reactividade de pozolanas para argamassas e betões. Dissertação de Mestrado em Eng. Civil, Universidade Nova de Lisboa, 2011.

VEIGA, R., FRAGATA, A., VELOSA, A., MAGALHÃES, A., MARGALHA, G. – Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings. Int. J. Architectural Heritage 4 (2010) 177-195.

